

**Zeitschrift:** Ingénieurs et architectes suisses  
**Band:** 113 (1987)  
**Heft:** 20

**Artikel:** Armature minimale: exemple d'une application récente  
**Autor:** Missbauer, Paul  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-76428>

#### Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

#### Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

#### Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

**Download PDF:** 06.02.2026

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

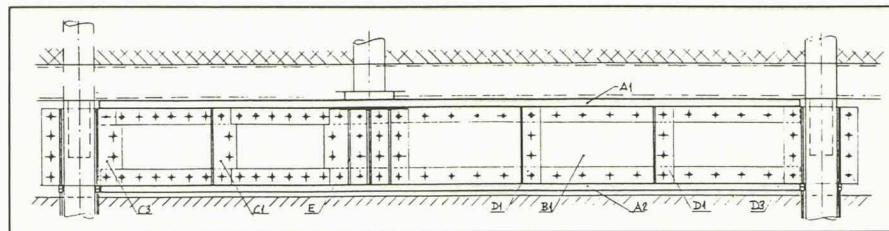


Fig. 2. - Coupe longitudinale de la poutre.

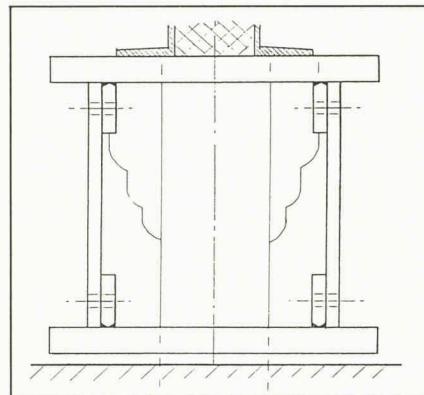


Fig. 3. - Coupe type de la poutre.

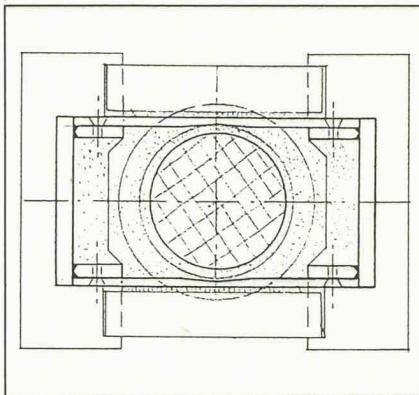


Fig. 4. - Coupe type du pilier.

## Armature minimale : exemple d'une application récente

par Paul Missbauer, Sion

Le projet de nouvelle édition de la norme SIA 162-E (1986) exige, pour les éléments en béton armé dont les déformations sont entravées, une armature minimale apte à limiter l'ouverture des fissures et à répartir celles-ci sur toute la partie soumise à des tractions. L'ouvrage, décrit brièvement ci-après, a été conçu d'après le critère à la base de ces nouvelles prescriptions, qui est : l'armature ne doit pas être plastifiée sous l'effort de traction libéré lors de l'apparition des premières fissures. Nous présentons ici un exemple typique où l'application de cette règle a permis de maîtriser la fissuration du béton et de réaliser un ouvrage étanche à l'eau, la galerie de Saint-Maurice de la N9.

Cet ouvrage, d'une longueur de 1200 m, entièrement enterré, plonge jusqu'à 3,50 m dans la nappe phréatique et serait complètement noyé, sur une grande partie de sa longueur, dans le cas d'une crue exceptionnelle du Rhône qui longe cette galerie.

L'étanchéité est donc un élément essentiel de cet ouvrage et, bien que le maître

de l'œuvre ait pris la précaution d'exiger une étanchéité sur la dalle et sur les parois extérieures, un béton étanche augmente la sécurité et la durabilité de la galerie, ce qui est indispensable pour le radier qui est directement en contact avec l'eau.

La galerie a été partagée en 30 éléments d'une longueur de 40 m, d'une part, afin

sés non seulement pour la reprise des charges, mais aussi pour réduire au maximum les mouvements, donc les déformations de la poutre (fig. 2). L'appui des nouveaux piliers du sous-sol ainsi que leur solidarisation avec les existants « inclus » furent réalisés avec une résine époxyde, à prise relativement lente pour éviter une température trop élevée lors de la prise (fig. 3).

Enfin, la « mise en service » de la nouvelle structure se fit à l'aide d'un vérin plat, avec contrôle de la charge et des déformations de la nouvelle et de l'ancienne structure jusqu'à décollement de la tête du pilier à supprimer, qui fut, enfin déchargé, être coupé... sans que les occupants des étages supérieurs s'en rendent compte.

Adresse des auteurs :  
Claude Aviolat, ing. EPFL  
Alain Chassot, ing. EPUL-SIA-ASIC  
Epalinges

qu'elle puisse s'adapter aux déformations différentielles du terrain et, d'autre part, pour des raisons d'exécution.

### Estimation des efforts résultant des entraves aux déformations

#### 1. Etat de construction, bétonnage des parois

Les parois de la galerie ont été bétonnées en moyenne 30 jours après le bétonnage du radier. La chaleur libérée, suite à l'hydratation du ciment, chauffe ces parois jusqu'à 30 à 40°C suivant la saison.

Le dégagement de chaleur pendant la prise et sa déperdition, en fonction du type de coffrage et du délai de décoffrage, peut être chiffré par exemple selon les directives RILEM [1]. Dans notre cas, pour une paroi d'une épaisseur de 60 cm, béton CP 300 et un coffrage en bois de 30 mm, l'évolution de la température du béton suit la courbe donnée dans la figure 1.

On constate que 20 h après sa mise en place, le béton atteint une température moyenne de 33°C et il commence à se refroidir environ 24 h après le bétonnage. Le retrait thermique est entravé par le radier qui, lui, est déjà durci et dont la température se situe entre 10 et 15°C.

Si nous admettons un retrait thermique du mur, par rapport au radier, correspondant à 20°C, nous obtenons un raccourcissement du mur de 8 mm par rapport au radier. De la compatibilité des déformations dans le joint de bétonnage résulte un état de contraintes représenté à la figure 2a. Il en suivrait une courbure uniforme de l'ensemble mur-radier. Celle-ci

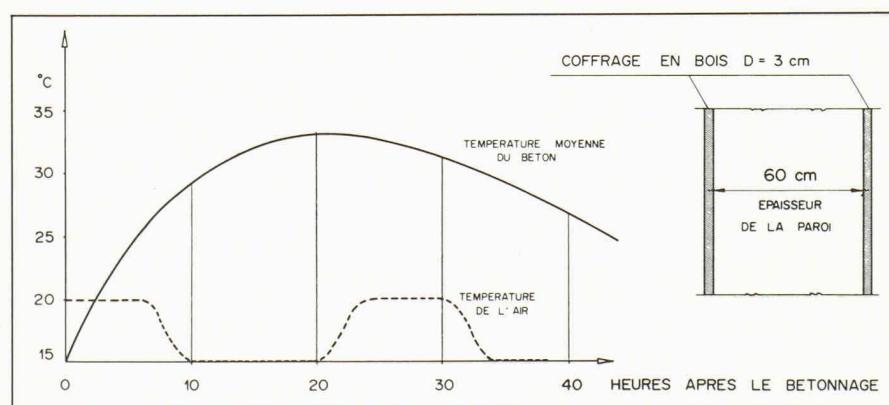
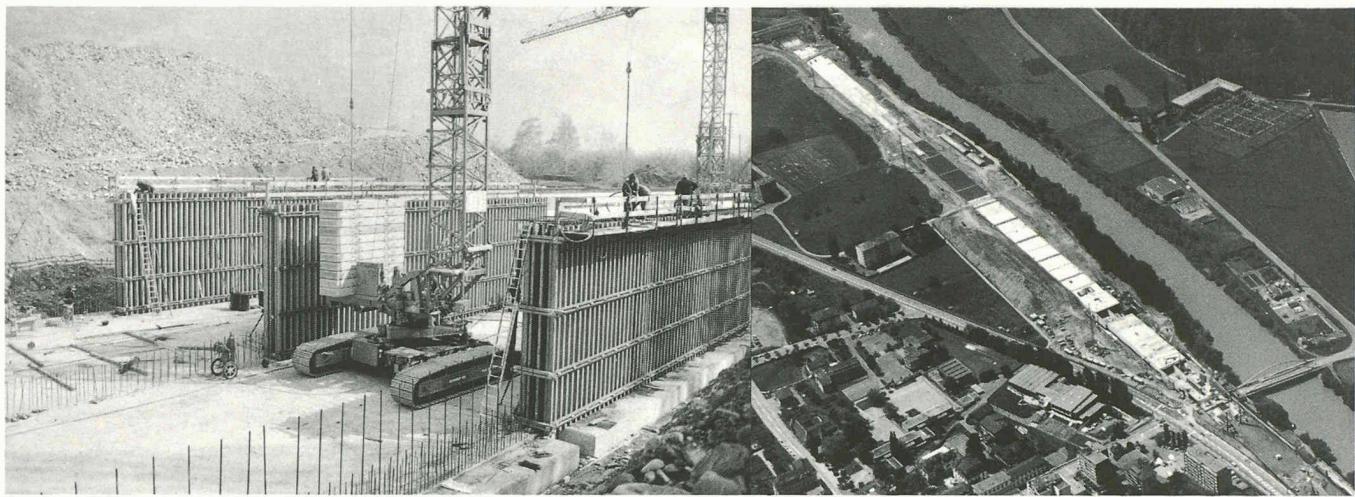


Fig. 1. - Variation de la température du béton.

<sup>1</sup> Les chiffres entre crochets renvoient à la bibliographie en fin d'article.



Vue aérienne de la galerie en construction.

Bétonnage des parois.

est réduite par l'effet du poids propre (poutre sur sol élastique). De la superposition de ces deux effets, on obtient dans la partie centrale du mur un état de traction pure (fig. 2b). Cette contrainte dépasse de loin la résistance à la traction d'un béton à l'âge de 3 jours ( $f_{ct} = 1,8 \text{ N/mm}^2 < \sigma_{eff} = 2,7 \text{ N/mm}^2$ ).

## 2. Ouvrage fini et remblayé

Une grande partie de la galerie a été recouverte de remblais, environ quatre mois après le bétonnage. Le raccourcissement dû au retrait du béton qui s'étale sur plusieurs années est réduit par l'effet du frottement du terrain qui s'oppose à ce mouvement. Dans notre cas, les efforts résultant de cette entrave (fig. 3), en tenant compte de l'excentricité due à la répartition des contraintes du sol sur les parois et le radier sont :

$$N = L(2 \cdot E_o + \sigma_{sol} \cdot B) \cdot \tan \phi = 35000 \text{ kN}$$

et  $M = 2,65 \cdot 35000 = 93000 \text{ kNm}$   
et la contrainte au bord inférieur du radier :  $\sigma = 1,8 \text{ N/mm}^2$

Même si ce calcul ne tient pas compte de la déformation horizontale du sol engendrée par ces efforts, on peut déduire que cette sollicitation cumulée aux autocontraintes peut provoquer une certaine fissuration.

Etant donné ce qui précède, on voit qu'il est absolument nécessaire de trouver un mode de construction propre à réduire ces contraintes de traction et de prévoir une armature suffisante pour limiter la formation de fissures, pour garantir l'aptitude au service et notamment l'étanchéité de l'enveloppe de la galerie.

## Mode de construction et prévention de la fissuration

### 1. Choix des matériaux et mise en place du béton

Tous les bétons ont été fabriqués avec des agrégats concassés non lavés, provenant des matériaux d'excavation d'un tunnel de la N9 réalisé à proximité, dans une roche calcaire de bonne qualité. La courbe granulométrique optimale a été étudiée sur la base de nombreux essais

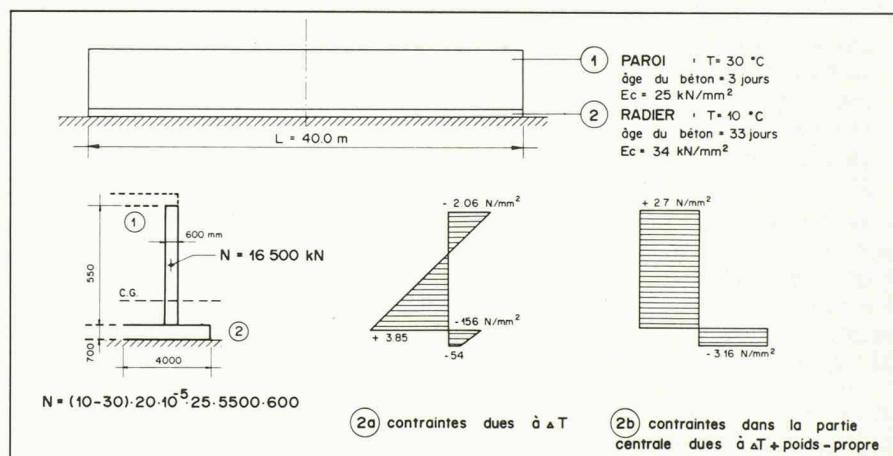


Fig. 2. – Contraintes résultant d'un retrait thermique du mur de 20°C.

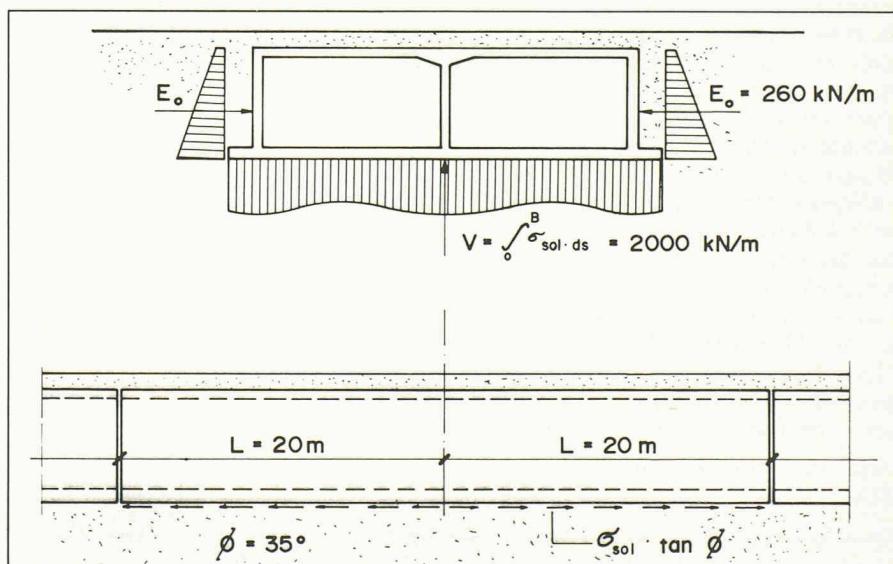


Fig. 3. – Efforts agissant sur la galerie remblayée.

préliminaires ; celle adoptée pour l'exécution diffère légèrement de la courbe donnée dans la norme SIA 162, qui est faite pour des agrégats roulés. Pour faciliter la mise en place et pour augmenter la maniabilité, l'adjonction d'un fluidifiant était nécessaire pour certaines parties de l'ouvrage.

La résistance à la compression moyenne à 28 jours s'élevait à 35 N/mm² avec un écart type de 2,6 N/mm² et la résistance

minimale à 28 N/mm². Ce béton correspond donc à un béton B 35/25 du projet de norme SIA 162-E.

Le bétonnage d'un élément de 40 m a été réalisé selon les étapes suivantes :

- Le radier (708 m³) en une étape, en utilisant un adjuvant retardateur de prise de 0,2% du poids du ciment à cause du front de bétonnage de 27 m de largeur. Ce dosage a été augmenté au milieu à 0,8% pour une pause nocturne de 13 h.

**Bibliographie**

- [1] TFBSZ, Wildegg: *RILEM-Richtlinien für das Betonieren im Winter*.
- [2] Manuel du CEB: *Fissuration et déformations*, Bulletin d'information N° 158-f, EPF-Lausanne, 1983.
- [3] SIA 162-E: *Structures en béton. Projet de nouvelle norme N 5222-4*, août 1984.
- [4] SIA 162-E: *Structures en béton. Projet de nouvelle norme N 5222-5*, novembre 1986.

- Les parois extérieures ont été bétonnées chacune en deux étapes de 20 m de longueur ( $2 \times 67 \text{ m}^3$ ), avec un soin particulier pour les reprises de bétonnage (rugosité, armatures traversantes renforcées et rubans d'étanchéité).
- La paroi centrale en deux étapes.
- La dalle-toiture ( $545 \text{ m}^3$ ) en deux étapes également, avec un joint de travail coffré avec armatures traversantes et avec l'adjonction de  $0.6 \text{ kg}$  de retardateur de prise par  $\text{m}^3$  de béton, à cause de la largeur du front de bétonnage de  $23,7 \text{ m}$ .

A cause des exigences du programme et pour une réutilisation optimale des coffrages, les dalles ont été décoffrées 3 jours après le bétonnage. La résistance exigée lors du décoffrage était de  $22 \text{ N/mm}^2$ .

**2. Armature longitudinale**

En plus d'un dimensionnement des armatures longitudinales nécessaires pour la résistance à la flexion - par exemple due aux charges concentrées sur la dalle -, la section de cette armature doit être choisie en fonction de ce qui précède. En cas d'entraves, elle doit satisfaire au critère de non-plastification énoncé au début de cet article.

Nous prenons comme exemple la partie inférieure des parois, qui est la zone la plus sollicitée.

La détermination de l'armature a été effectuée selon le *Manuel du CEB: Fissuration et déformations* [2], et le projet de la nouvelle norme SIA 162-E [3]. Le principe et le résultat de ce calcul ne diffèrent guère de celui prévu dans le dernier projet de révision de cette norme [4].

Armature minimale nécessaire (selon SIA 162-E, N 5222-5):

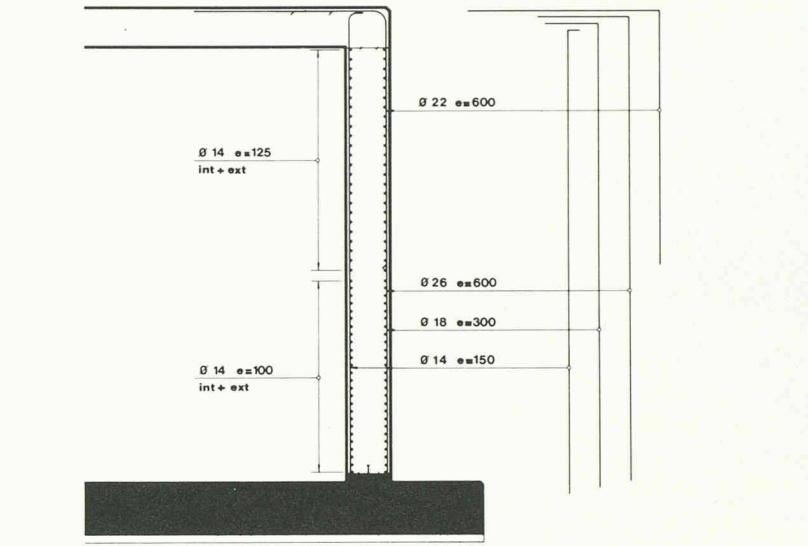


Fig. 4. — Armature des parois.

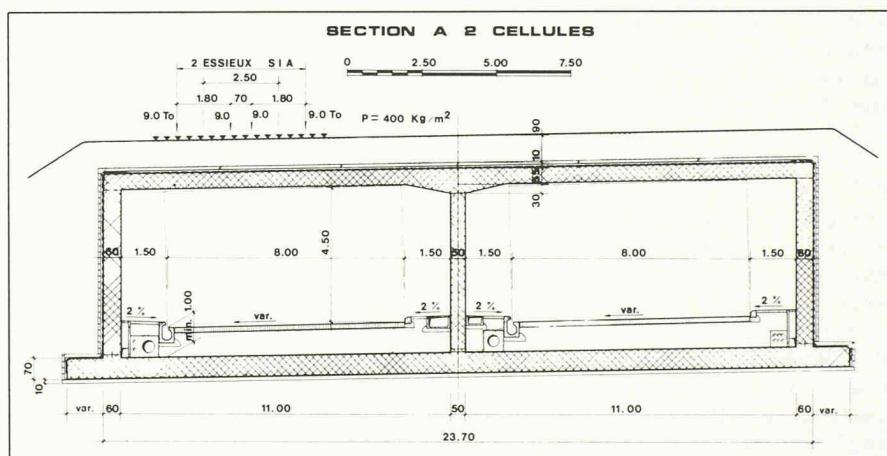


Fig. 5. — Coupe type de la galerie.

$$A_{s, \min} = \gamma \cdot \frac{\alpha \cdot \beta \cdot f_{ct} \cdot A_{ct}}{f_{yk}}$$

avec:

$f_{yk} = 460 \text{ N/mm}^2$  pour l'acier S 500

$f_{ct} = 2,4 \text{ N/mm}^2$  pour un béton B 35/25

$\gamma = 1,3$  pour niveau d'exigences élevé (étanchéité de la paroi en béton)

$\alpha = 1,0$  pour écartement des armatures  
 $s = 100 \text{ mm}$

$\beta = 0,64$  pour traction pure et épaisseur  
 $t = 600 \text{ mm}$

$$A_{s, \min} = 1,3 \cdot \frac{1,0 \cdot 0,64 \cdot 2,4 \cdot 600 \cdot 1000}{460} = 2605 \text{ mm}^2/\text{m}$$

ce qui donne des barres  $\phi 14, s = 100 \text{ mm}$  sur les deux faces de la paroi.

Cette méthode de dimensionnement des armatures a fait ses preuves, puisque cette galerie est restée, jusqu'à ce jour, parfaitement étanche et aucune fissure n'a pu être décelée.

**Adresse de l'auteur:**

Paul Missbauer, ing. SIA-ASIC  
KBM, Bureau d'ingénieurs civils SA  
39, rue de Lausanne  
1950 Sion

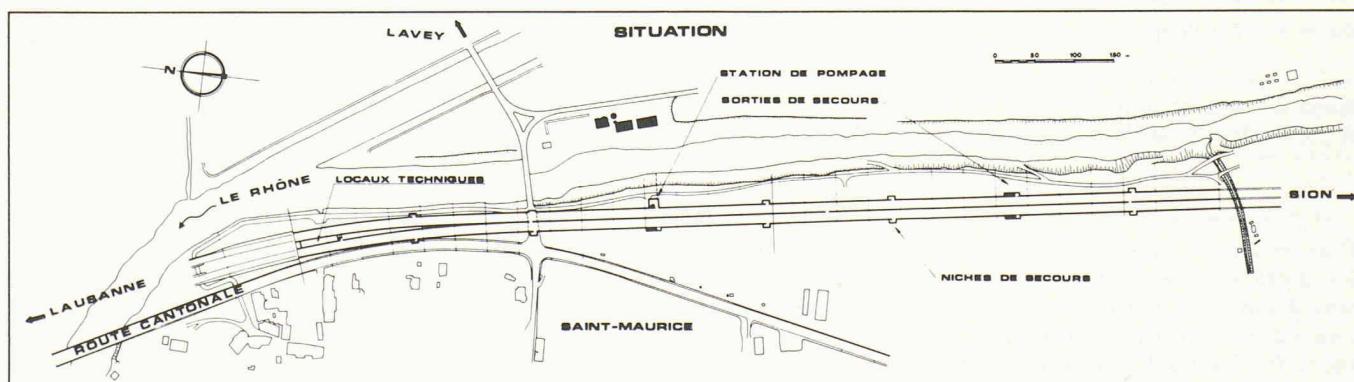


Fig. 6. — Plan de situation.